

Inwieweit durch Einsatz modernster Computertechnologie die Aktivierung von Korrekturschienen noch präziser realisiert werden kann, demonstriert Dr. Wajeeh Khan anhand des von ihm entwickelten orthocaps®-Alignersystems*.

Das „customized“ Alignersystem

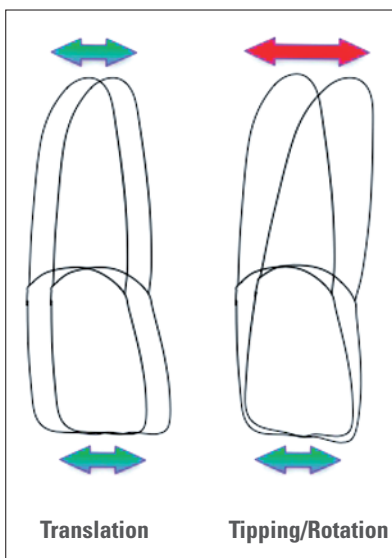


Abb. 1: Ausmaß der Wurzelbewegung durch Kippung/Rotation.

Herausnehmbare Aligner aus thermoplastischen Kunststoffen sind orthodontische Geräte, die seit mehreren Jahrzehnten in der Kieferorthopädie verwendet werden. Durch die Transparenz dieser Kunststoffe sind die Aligner fast unsichtbar und deswegen auch meistens die bevorzugte Wahl in der kieferorthopädischen Behandlung vieler erwachsener Patienten. Wie bei festsitzenden Behandlungen, wo unterschiedliche Befunde den Einsatz von verschiedenen Behandlungsmitteln (z. B. orthodontische Drähte, TPA, Auxiliaries usw.) benötigen, sollten auch bei Aligner-Behandlungen individuelle Behandlungsmerkmale und Besonderheiten berücksichtigt werden. Dies bedeutet neben der individuellen Planung die Benutzung von behandlungsspezifischen thermoplastischen Kunststoffen. Nur so können Aligner auch effektiv wie andere übliche

Behandlungsmittel die Kraft über die Zähne auf den Knochen übertragen, durch mechanische Transduktion Knochenumbaumechanismen (Remodeling) hervorrufen und damit orthodontische Bewegungen ermöglichen.

Herstellungsprozess mittels CAD/CAM

Anfang der 1980er-Jahre wandte der französische Zahnarzt François Duret erstmals den CAD/CAM-Prozess in der Zahnmedizin an. Auch bei der Herstellung von Alignern bieten die CAD/CAM-Methoden entscheidende Vorteile im Vergleich zu herkömmlichen Prozessen. Das orthocaps®-System nutzt deswegen diese innovativen Techniken, um präzise Zahnbewegungen durchzuführen. Schwierige Zahnbewegungen sind dadurch leichter durchzuführen und komplexere Set-ups einfacher zu realisieren.

Simulation der Zahnbewegung

Die Erfassung der Daten für den CAD/CAM-Prozess erfolgt durch das Einscannen der Abdrücke oder Zahnmodelle oder direkt beim Patienten mithilfe eines Intraoral-Scanners. So ist es allerdings nur möglich, die Zahnkronen in der Software darzustellen. Die Wurzeln der Zähne werden hingegen durch solche Scan-Verfahren nicht erfasst. Für die Nachbildung der Wurzeln sind entweder DVT- oder CT-Daten notwendig oder virtuelle Wurzeln müssen mittels CAD-Software hergestellt werden. Beim orthocaps®-Prozess werden die Wurzeln mithilfe einer CAD-Software hergestellt.

Die Berücksichtigung der Wurzellänge bei der Behandlungssimulation ist notwendig, um das Ausmaß der linearen Verschiebung im Wurzelbereich zu kalkulieren. Dieser Wert ist für alle Bewegungssituationen (Rotation,

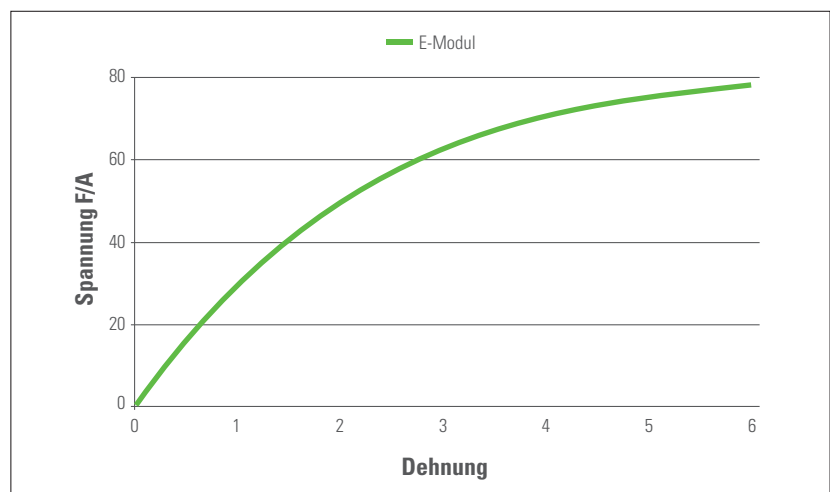


Abb. 2: Spannungs-Dehnungs-Diagramm.

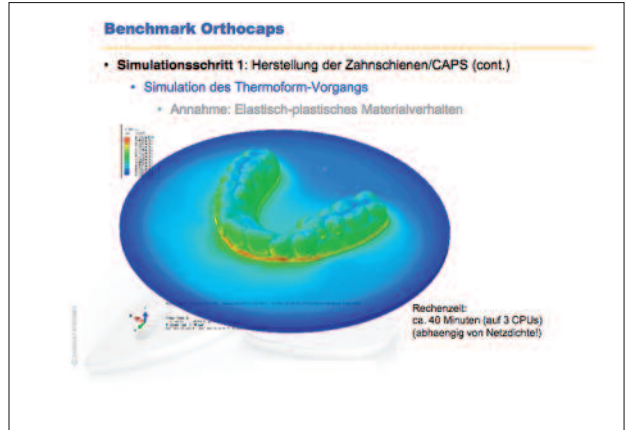
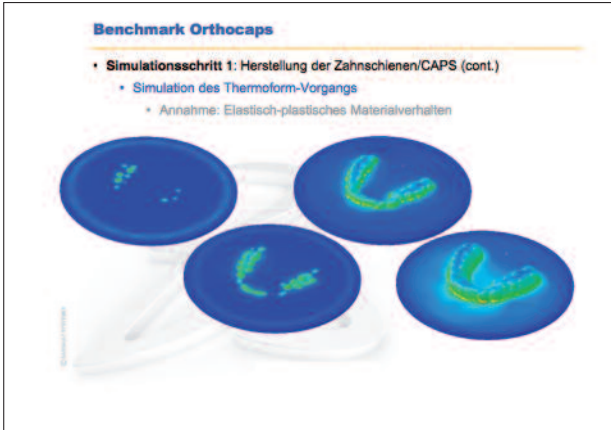


Abb. 3: Finite-Elemente-Analyse: schrittweise Simulation des Thermoform-Vorgangs. – Abb. 4: Finite-Elemente-Analyse: abgeschlossener Thermoform-Vorgang.

Kippung, Torque usw.), außer der einer reinen Translationsbewegung, relevant (Abb. 1). Mit der CAD-Software des orthocaps®-Systems werden die virtuellen Wurzeln entsprechend den eingescannten Kronen adaptiert, um damit einen kompletten Zahn zu bilden. Nur so ist es möglich, mit der tatsächlichen Bewegung im Wurzelbereich innerhalb des vordefinierten Limits zu bleiben und dieses nicht zu überschreiten.

Materialeigenschaften

Nicht nur die CAD/CAM-Methode, sondern auch die Materialeigenschaften der thermoplastischen Kunststoffe spielen bei den Behandlungen eine sehr große Rolle. Es ist sehr wichtig, dass wir als Kieferorthopäden es verstehen, die Prozesse der Zellbiologie auf mikroskopischer Ebene und die Regeln der biomechanischen Kraftauswirkung bei Aligner-Therapien nicht von Behandlungen mithilfe anderer Geräte zu unterscheiden. Dies bedeutet, dass die wissenschaftlichen Kenntnisse, welche wir in über 100 Jahren moderner Kieferorthopädie gewonnen haben, hinsichtlich der Vorteile der Verwendung leichter Kräfte auch für die Behandlung mit Alignern gültig sind. Wir wissen, dass orthodontische Zahnbewegungen durch leichte orthodontische Kräfte ohne negative Nebeneffekte erreicht werden können. Leichte Kräfte verursachen weniger Schmerzen, Wurzelresorptionen oder unterminierende Resorptionen. Deswegen ist es unser Ziel, diese orthodontischen Kräfte so weit wie möglich niedrig zu dosieren und somit die Nebeneffekte gering zu halten. Die Verwendung elastischer thermoplastischer Kunststoffe in der Herstellung der orthocaps®-Aligner ist neben dem Einsatz moder-

ner Herstellungsverfahren ein sehr wichtiges Element. Nicht nur, um orthodontische Kräfte zu reduzieren, sondern auch um während der Behandlung die plastische Deformation der Aligner zu vermeiden und damit eine kontrollierte Zahnbewegung zu ermöglichen. Nur dann können schwierig zu behandelnde Zahnfehlstellungen effektiv therapiert werden.

Elastizität

Die Elastizität eines Materials ist jene Eigenschaft, unter Krafteinwirkung seine Form zu verändern und bei Wegfall der einwirkenden Kraft in die Ursprungsform zurückzukehren. Das Elastizitätsmodul (E-Modul) beschreibt das Verhalten zwischen Spannung und Dehnung eines Materials. Es ist unabhängig von der Querschnittsfläche und Formstruktur des Materials und stellt damit eine Materialkonstante dar. Je niedriger das E-Modul ist, desto elastischer ist das Material.

Das schematische Spannungs-Dehnungs-Diagramm (Abb. 2) zeigt eine Kurve, die den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung darstellt. Das E-Modul wird auf dem anfangs linearen Bereich der Kurve gemessen: $E = \text{Spannung} : \text{Dehnung}$. Der Übergang zwischen linearem und flachen Teil der Kurve wird als die Fließgrenze (Elastic Limit) bezeichnet. Bis zu dieser Grenze bleibt ein Material elastisch. Danach fängt es an, sich permanent zu verformen (plastische Deformation). Dabei ist $F:A$ die mechanische Spannung und $\Delta l:L$ die Dehnung. Die Dehnung ist das Verhältnis von Längenänderung zur ursprünglichen Länge. $E = \text{Spannung} : \text{Dehnung} = (F:A) : (\Delta l:L)$, wobei F = Kraft; A = Querschnitt; Δl = Längenänderung und L = ursprüngliche Länge ist. Auch die resultierende Kraft ist proportional zum E-Modul. Je elastischer das Material, desto niedriger ist die Kraft: $F = AE (\Delta l:L)$.

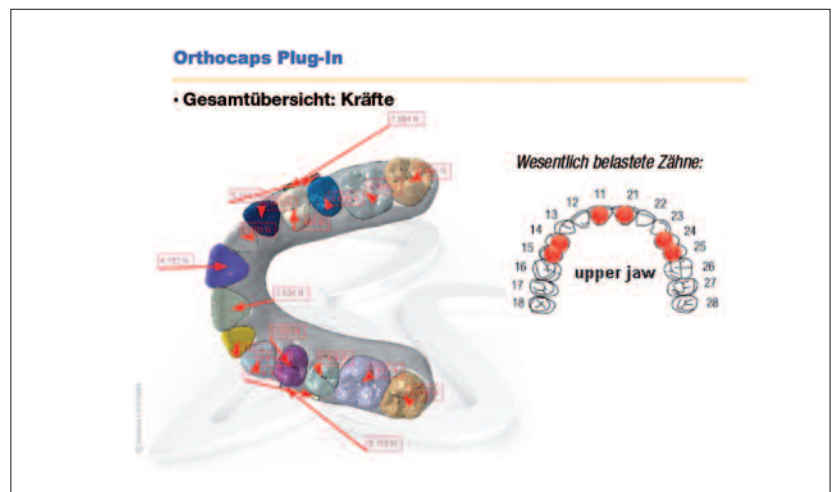


Abb. 5: Darstellung der Kraftvektoren mithilfe der Finite-Elemente-Methode.

Steifigkeit

Die Steifigkeit ist der Widerstand eines Körpers gegen Verformung durch eine Kraft oder ein Drehmoment. Im Gegenteil zur Elastizität ist diese Eigenschaft neben dem Material auch von der Geometrie des Körpers abhängig. Mathematisch gesehen ist die Steifigkeit k :

$$k = F : \Delta l \quad \text{oder} \quad k = AE : L$$

Aus der ersten Gleichung wird deutlich, dass neben dem E-Modul die Steifigkeit proportional zum Querschnitt und umgekehrt proportional zur ursprünglichen Länge des Materials ist.

Elastizität \neq Steifigkeit

Es ist sehr wichtig, den Unterschied zwischen Elastizität und Steifigkeit zu verstehen. Wenn eine plastische Verformung des Materials vermieden werden soll, muss ein elastisches Material für die Herstellung der Aligner gewählt werden. Ein dünneres, jedoch weniger elastisches Material mag zwar nicht so steif sein, wird sich aber genauso schnell verformen wie ein dickeres Material (siehe oben).

Finite-Elemente-Methode

Durch die Verwendung der Finite-Elemente-Methode-Software ist es möglich, unterschiedliche thermoplastische Materialien virtuell miteinander zu vergleichen und dadurch resultierende Kräfte grafisch darzustellen. Die Ortho Caps GmbH benutzt die FEM-Software nicht nur, um unterschiedliche thermoplastische Materialien in unterschiedlichen Behandlungssituationen miteinander zu vergleichen, sondern auch für die Darstellung der biomechanischen Kräfte und für die Optimierung der Attachmentformen in verschiedenen Behandlungsszenarien (Abb. 4, 5).

Ein speziell für orthocaps® programmiertes Plug-in (Abb. 5) erleichtert das Handling der sehr komplexen und aufwendigen Software. Durch den Einsatz der Finite-Elemente-Software sind zahlreiche Verbesserungen in der Materialauswahl sowie neue Kenntnisse hinsichtlich aligner-relevanter Biomechanik gewonnen worden, die den Herstellungsprozess weiterentwickelt haben.

Fallbeispiel (Abb. 6 bis 15)

Eine 30-jährige Patientin mit einer Klasse I-Verzahnung, ausgeprägtem Engstand sowie Tiefbiss wurde mit der orthocaps®-Apparatur behandelt.

FALLBEISPIEL 1 (Abb. 6–15)



Abb. 6a–c: Anfangsbefund: extraorale Ansichten.



Abb. 7a–e: Anfangsbefund: intraorale Aufnahmen.

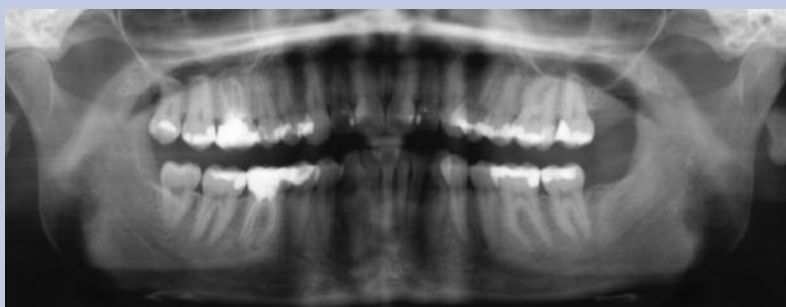


Abb. 8: Anfangsbefund: OPG.

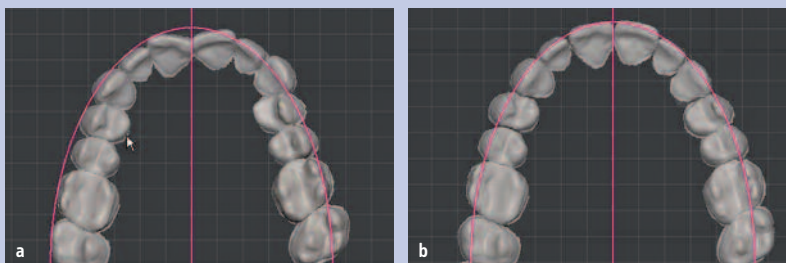


Abb. 9a, b: Virtuelles Set-up mittels CAD-Software.

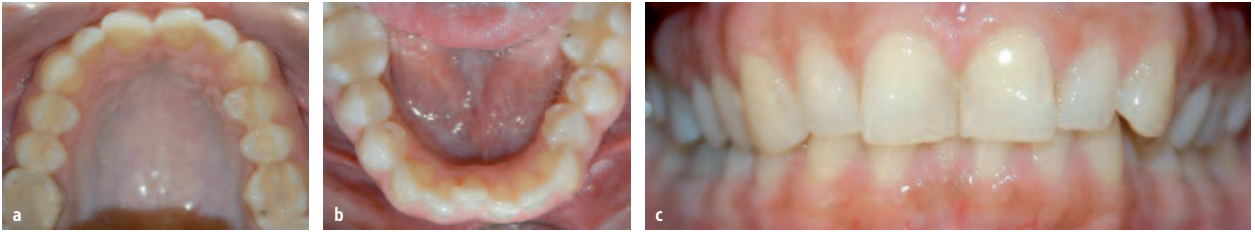


Abb. 10a–c: Anfangsbefund.

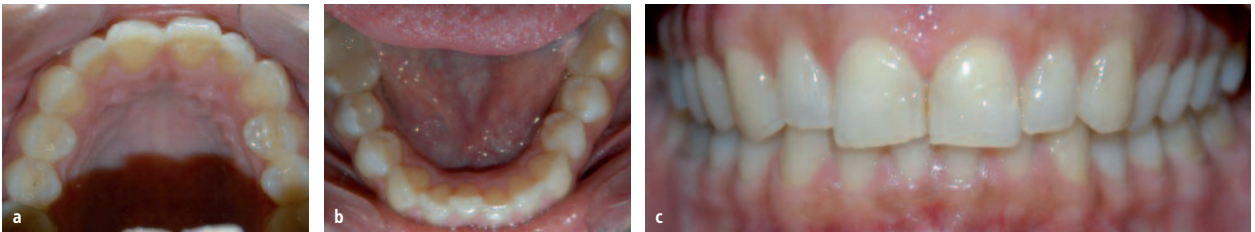


Abb. 11a–c: Erster Zwischenbefund.

Diagnose und Behandlungsplanung
Nach Einscannen der Modelle mittels orthocaps®-Software erfolgten die Planung und Festlegung der Behandlungsobjektive (Abbildung 9a, b). Da es sich um eine reine orthodontische Behandlung handelte, wurde auf eine FRS-Analyse verzichtet.

Oberkiefer

Der Oberkieferzahnbogen zeigte eine transversale Einengung zusammen mit palatinaler Kippung der linken Prämolaren. Eine mesiale Aufwanderung von 2 bis 3 mm des linken Seitenzahnsegmentes sowie ein Bukkalstand der Zähne 22 und 23 wurden ebenfalls festgestellt.

Unterkiefer

Die Analyse des Unterkieferzahnbogens ergab einen ausgeprägten Engstand der Front,

eine linguale Kippung der linken Prämolaren und diverse Einzelzahnrotationen als Befund.

Bisslage

Die Patientin hatte eine beidseitige Klasse I-Oklusion im Molarenbereich mit einer leichten Klasse II-Eckzahnrelation auf der linken Seite. Ein dentoalveolärer Tiefbiss war ebenfalls festzustellen.

Behandlungsziele

Im Behandlungsplan wurden folgende Ziele festgelegt:

- a) transversale Nachentwicklung im Oberkiefer und approximale Schmelzreduktion (ASR) zur Platzbeschaffung
- b) Distalisieren des linken Zahnsegmentes (siehe Abb. 9b)

- c) Intrudieren, Derotieren und Torquen der oberen Inzisivi
- d) Proklinieren und Intrudieren der unteren Inzisivi
- e) Auflösen der Engstände
- f) Bisshebung und Einstellung einer regelrechten Verzahnung.

Behandlungsapparatur

Für die orthocaps®-Apparaturen (CAPS) wurden folgende Materialien ausgewählt:

- 1. Behandlungsphase (Behandlungsschritte 1 bis 3):
 - softCAPS: Ethylenvinylacetat (EVA), Stärke 3 mm
 - hardCAPS: Polypropylen (PP), Stärke 1 mm.
- 1. Behandlungsphase (Behandlungsschritte 4 bis 8):



Abb. 12a–c: Zweiter Zwischenbefund.

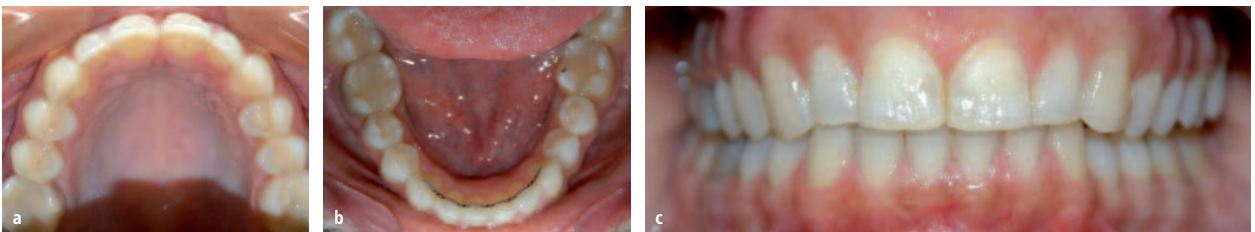


Abb. 13a–c: Abschlussbefund.

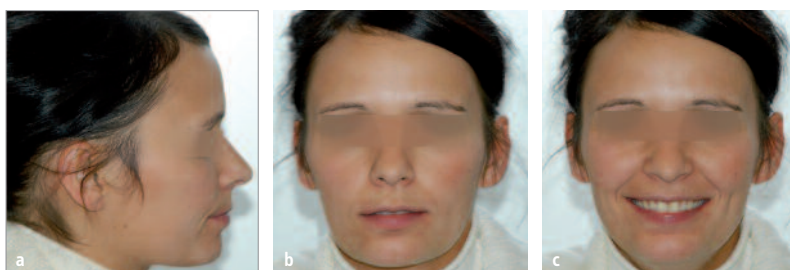


Abb. 14a–c: Behandlungsende: extraorale Aufnahmen.



Abb. 15a–e: Behandlungsende: intraorale Aufnahmen.

– softCAPS: Polyurethan in Kombination mit Polycarbonat (PC), Gesamtstärke 1,8 mm

– hardCAPS: Polyethylenterephthalat (PET-G), Stärke 0,5 mm.

2. Behandlungsphase (Behandlungsschritte 9 bis 16):

– softCAPS: Polyurethan in Kombination mit Polyethylenterephthalat (PET-G), Gesamtstärke 2 mm

– hardCAPS: Polyethylenterephthalat (PET-G), Stärke 0,8 mm.

Behandlungssequenz

Die softCAPS wurden immer nachts getragen. Nach einer Tragezeit von einer Woche wurden für die nächsten zwei Wochen zusätzlich die hardCAPS tagsüber getragen. Die Behandlungssequenz für alle anderen Behandlungsschritte blieb gleich. Die Aktivierung pro Behandlungsschritt lag zwischen 0,4 und 0,5 mm. Die Behandlungsdauer betrug 14 Monate.

Ergebnisse

Die in den Abbildungen 10 bis 13 dargestellten Aufnahmen von Ober- und Unterkiefer zeigen den Behandlungsverlauf.

Die Abschlussunterlagen (Abb. 14) zeigten, dass die Behandlungsobjektive erreicht wurden. Die Patientin trug weiterhin die letzte hardCAP im Oberkiefer als Retentionsschiene. Im Unterkiefer wurde zur Langzeitstabilisierung ein Ortho-Flex-Lingualretainer (Fa. Reliance Orthodontics) eingesetzt und die Patientin entsprechend über die Notwendigkeit der Retentionsphase aufgeklärt.

Adresse

Dr. Wajeeh Khan
FZA für Kieferorthopädie
Oststraße 29c
59065 Hamm
Tel.: 02381 931037
Fax: 02381 931039
info@praxis-khan.de
www.praxis-khan.de

Diskussion

Die Erfahrungen mit der orthocaps®-Behandlungsmethode zeigen, dass durch den Einsatz moderner Computertechnologie zur präzisen Aktivierung der Behandlungsschienen (CAPS) zusammen mit einer fallbezogenen Auswahl des thermoplastischen Kunststoffes zur Herstellung der CAPS, auch Zahnfehlstellungen, die mit herkömmlichen Schienensystemen nur schwierig zu realisieren sind, effektiv behandelt werden können.

Es zeigt sich ebenfalls, dass die bereits beschriebenen Grundprinzipien der Kieferorthopädie wie sorgfältige Planung, eine Anwendung leichter Kräfte sowie kontrollierte Zahnbewegungen – unabhängig davon, welche Behandlungsapparaturen oder -techniken Anwendung finden – ihre Gültigkeit behalten.

*Ortho Caps GmbH, Hamm, www.orthocaps.de

Kurzvita



Dr. Wajeeh Khan

- 1980–1984 Studium der Zahnmedizin, Universität von Punjab-Lahore
- 1986–1989 wissenschaftlicher Angestellter, Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster
- 1989 Doktor der Zahnheilkunde
- 1993–1996 klinisch-universitäre Facharztweiterbildung in Kieferorthopädie, Poliklinik für KFO, Westfälische Wilhelms-Universität Münster
- seit 11/1996 niedergelassen in eigener Praxis in Hamm
- seit 1/2006 Geschäftsführer der Ortho Caps GmbH